

Министерство науки и высшего образования и Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

Институт права, социального управления и безопасности
Кафедра информационной безопасности в управлении

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Ижевск
2020

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2я73
М545

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: Т.А.Широбокова, к.т.н., доц. каф. электротехники,
электрооборудования и электроснабжения, ФГБОУ ВО ИжГСХА

Составители: Стерхова Т. Н., Бас А.С.

М545 Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по электротехнике: методические рекомендации / сост. Т.Н. Стерхова, А.С. Бас. Ижевск: *Jus est*, 2020. 44с.

В издании приводятся краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ, порядок выполнения работы, указания по оформлению отчёта, контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

Методические рекомендации предназначены для студентов специалитета 10.05.05 «Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере» и бакалавриата 10.03.01 «Информационная безопасность».

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2я73

© Т.Н. Стерхова, А.С. Бас, 2020
© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении работ в лаборатории «Специальная техника»	4
Лабораторная работа № 1. Исследование резистивного делителя напряжения	7
Лабораторная работа № 2. Исследование амплитудно-частотных (АЧХ) характеристик сетевых фильтров	11
Лабораторная работа № 3. Исследование параллельного колебательного контура	18
Лабораторная работа № 4. Измерение взаимной индуктивности	25
Лабораторная работа № 5. Исследование длинной линии при резистивных нагрузках	32
Список рекомендуемой литературы	41

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания являются составной частью комплексов учебно-методического обеспечения курсов «Электротехника» и «Основы электротехники и радиоэлектроники» на кафедре ИБвУ ИПСУБ ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет».

В описании каждой работы приведены:

- краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ;
- порядок выполнения работы;
- указания по оформлению отчёта;
- контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

При выполнении лабораторных работ студенты должны достичь следующих целей:

- убедиться в правильности теоретических положений, рассмотренных на лекционных занятиях, повторить и закрепить теоретический материал этих занятий;
- получить практический опыт чтения и сборки электрических схем, а также работы с электрооборудованием;
- научиться снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов;
- на основе составления отчетов по лабораторным работам получить навыки оформления электротехнической документации;
- получить практические навыки по управлению электрическим оборудованием и технике безопасности при работе с ним.

Методические рекомендации составлены применительно к лаборатории «Специальная техника», рассчитанной на одну учебную группу.

Коллоквиум по проверке готовности студентов к выполнению лабораторной работы проводится в начале каждого занятия. Хорошая подготовка к лабораторной работе — непереносимое условие ее эффективности, так как проведение любого эксперимента имеет смысл только в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и характер ожидаемых результатов.

ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ «СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

При работе в лаборатории «Специальная техника» во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.
2. Студент обязан не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.
3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.
4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил техники безопасности.
5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.
6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам.
7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по разрешению деканата и особому расписанию.
8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъемных соединений.
9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.
10. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.
11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю или учебному мастеру.
12. Включение электрической цепи под напряжение (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя или учебного мастера.
13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю или учебному мастеру.
14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания.
15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами к оголенным токоведущим частям электрической цепи, находящимся под напряжением.
16. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя или учебного мастера.

17. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

18. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и остановке дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

Оформление отчета по лабораторным работам. Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе в рабочей тетради составляют отчет, руководствуясь следующими положениями:

1) указать название и порядковый номер лабораторной работы, а также кратко сформулировать цель работы;

2) схемы и графики вычертить с помощью трафарета радиоинженера или циркуля и линейки с соблюдением принятых стандартных условных обозначений;

3) графические зависимости дать в прямоугольной системе координат в масштабе, с равномерными шкалами, произвольный перенос начала координат не допускается, на графиках необходимо наносить экспериментальные точки;

4) отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы: изучить характеристики резистивных делителей напряжения при различных нагрузках.

2. Вопросы для самопроверки

2.1 Что называется четырехполюсником?

2.2 Дайте схемное изображение четырехполюсника, укажите направление токов и напряжения.

2.3 Дайте определение выходного сопротивления четырехполюсника.

2.4 Что называется коэффициентом передачи четырехполюсника по напряжению?

2.5 Как в общем случае производится расчет коэффициента передачи цепи?

2.6 Дайте определение делителя напряжения.

2.7 Какая зависимость коэффициента передачи делителя напряжения с плавной регулировкой от угла поворота движка в режиме холостого хода?

2.8 Нарисуйте характеристики делителя напряжения с плавной регулировкой при сопротивлении нагрузки $R_H = \infty$ и при $R_H = R_K$.

2.9 Объясните, как изменится характеристика делителя напряжения с плавной регулировкой, если сопротивление нагрузки R_H увеличить; уменьшить.

3. Экспериментальная часть

В экспериментальной части необходимо:

- измерить напряжение на выходе резистивного делителя напряжения при различных значениях сопротивлений резисторов;
- сравнить экспериментальные результаты с расчетными и убедиться в правильности произведенных расчетов.

Схема проведения измерений представлена на рис. 1.1.

Измерение напряжения источника питания производится вольтметром PV1.

Измерение тока I производится путем измерения падения напряжения на шунтирующем резисторе $R_{ш} = 10 \text{ Ом}$ с помощью вольтметра PV2.

$$I = \frac{U_{PV2}}{R_{ш}} \quad (1.1)$$

Измерение напряжения на резисторе R_H производится вольтметром PV3. Резистор R_1 получен путем последовательного соединения резистора 500 Ом и резистора $R_{ш} = 10 \text{ Ом}$.

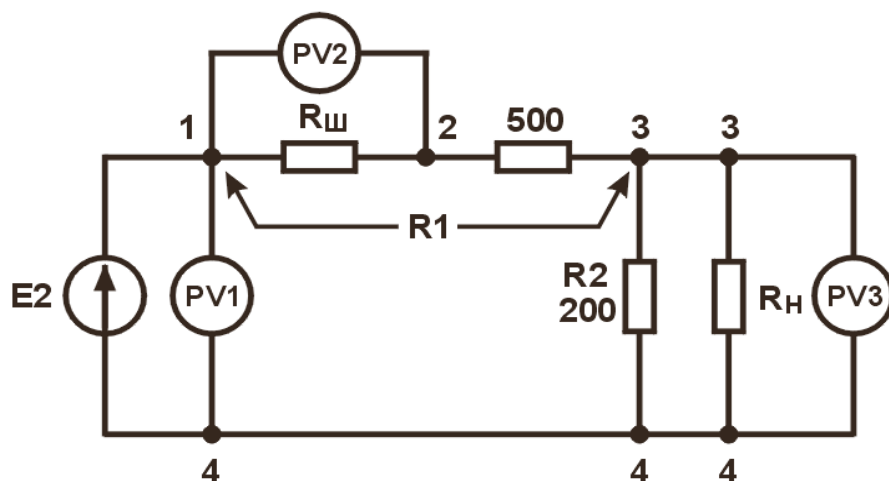


Рис. 1.1. Схема проведения измерений

Произведите подключения согласно рис. 1.2.

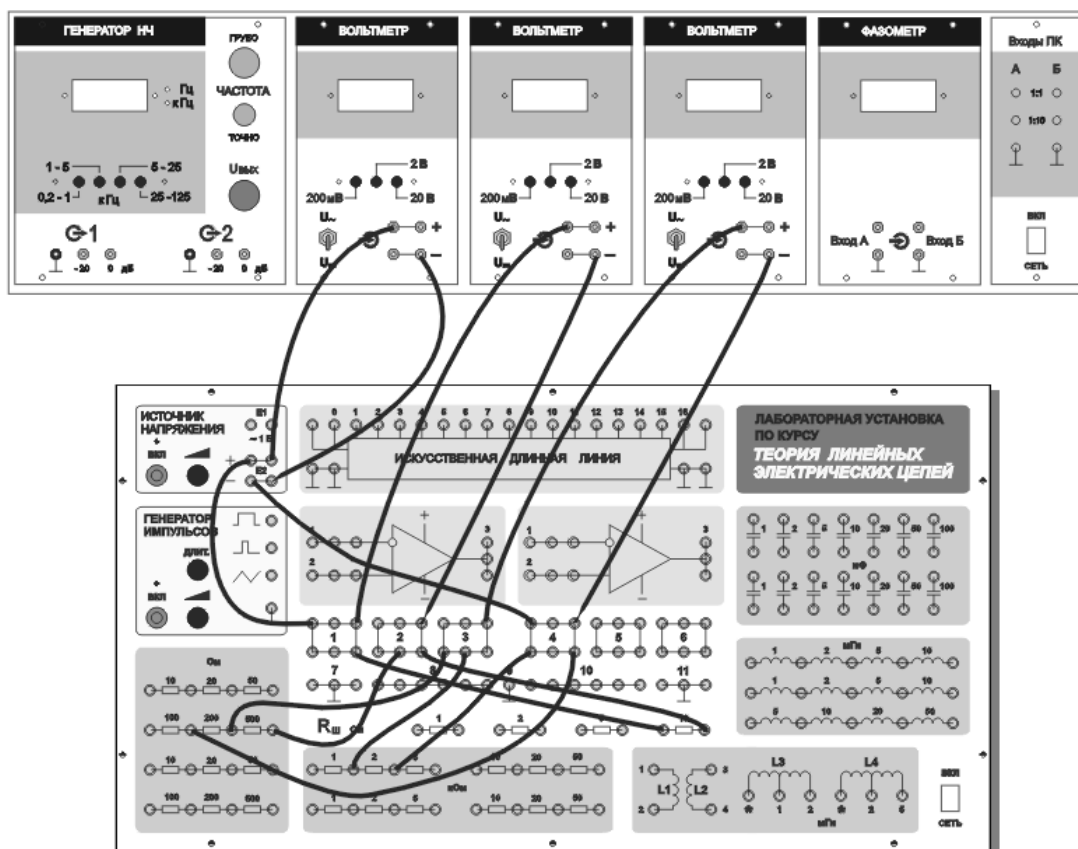


Рис. 1.2. Схема соединений при $R_H = 2000 \text{ Ом}$

Установите предел измерения вольтметра PV1 равным 20В, вольтметра PV2 – равным 200мВ, вольтметра PV3 – равным 20В. Тумблеры переключения режимов работы вольтметров установите в положение измерения постоянного напряжения (=). Регулятор выходного напряжением источника E2 поверните против часовой стрелки до упора. Собранный схему

предъявите преподавателю. После проверки преподавателем собранной схемы включите установку.

Включите источник E_2 . Установите напряжение источника $E_2=10$ В. Показания вольтметров PV2 и PV3 занесите в табл. 1.1.

Аналогичным образом проведите измерения для других значений R_H . Полученные данные занесите в табл.1.1.

Таблица 1.1

Параметры делителя напряжения по результатам эксперимента

U, В	R_H , Ом	U_{PV2} , В	I, мА	U_H , В	H_U	H_P	A, дБ
10	2000						
10	500						
10	50						

Сравните результаты эксперимента с результатами ранее проведенных расчетов; сделайте необходимые выводы.

Расчетная часть

По заданному напряжению источника питания и сопротивлениям резисторов рассчитайте напряжение на выходе резистивного делителя напряжения, значения коэффициента передачи по напряжению, коэффициента передачи по мощности и ослабления в дБ. Полученные результаты занесите в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Параметры делителя напряжения

№ варианта	U, В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_H , Ом	I, мА	U_H , В	H_U	H_P	A, дБ
1	10	510	200	2000					
2	10	510	200	500					
3	10	510	200	50					

4. Краткие сведения из теории

В радиотехнической аппаратуре широко применяется последовательное соединение резисторов в так называемых делителях напряжения. Имея цепь из последовательно соединенных резисторов, можно получить различные напряжения.

Для схемы, изображенной на рис. 1.3, ток в цепи равен

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Падение напряжения на резисторах

$$U_{R1} = I \cdot R_1 \quad U_{R2} = I \cdot R_2 \quad U_{R3} = I \cdot R_3.$$

Напряжение в различных точках цепи относительно точки D:

$$U_{CD} = U_{R3} \quad U_{BD} = U_{R3} + U_{R2} \quad U_{AD} = U_{R3} + U_{R2} + U_{R1}.$$

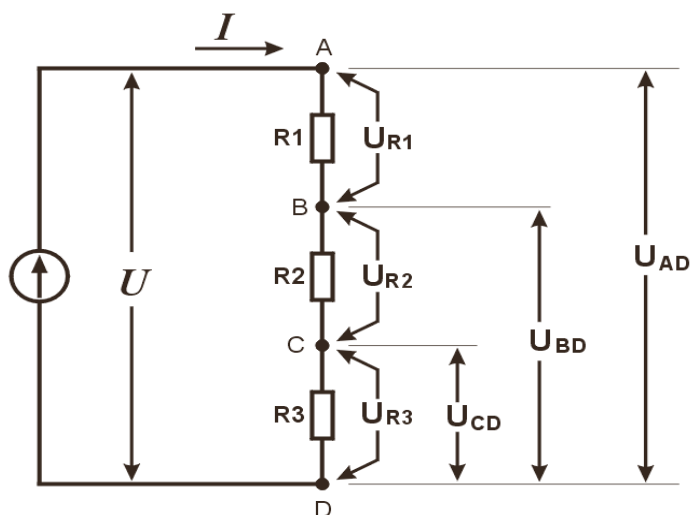


Рис. 1.3. Деление напряжения на последовательно соединенных резисторах

Таким образом, подбирая величину напряжения U источника питания и номинал резисторов, можно получить любое напряжение (от 0 до U) в заданной точке цепи относительно другой точки.

В реальных случаях полученное с помощью резистивного делителя напряжение используется для питания некоего потребителя (нагрузки) R_H . Сопротивление нагрузки учитывают при расчете делителя напряжения (рис. 1.4).

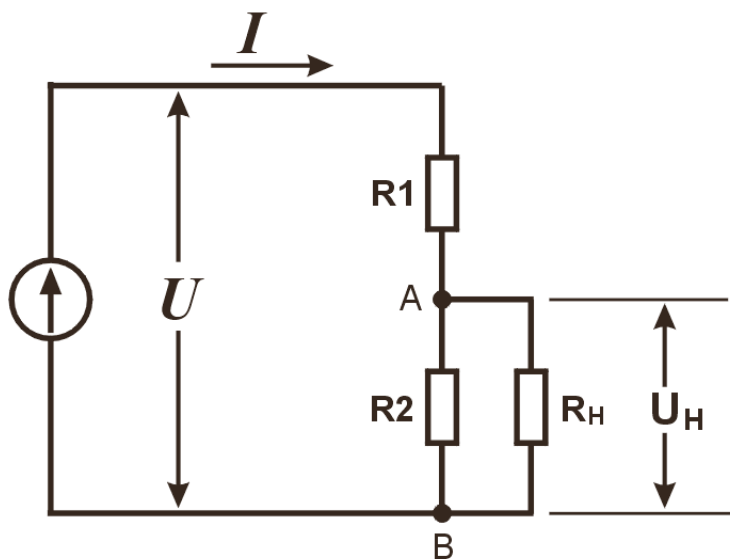


Рис. 1.4. Делитель напряжения с учетом сопротивления нагрузки

$$R_{AB} = \frac{R2 \cdot R_H}{R2 + R_H} \quad R = R1 + R_{AB} \quad I = \frac{U}{R}$$

$$U_{AB} = U_H = I \cdot R_{AB}.$$

Для оценки свойств резистивного делителя напряжения используются следующие параметры:

- коэффициент передачи по напряжению

$$H_U = \frac{U}{U_H},$$

- коэффициент передачи по мощности

$$H_P = \frac{P_H}{P} = \frac{U_H^2 \cdot R}{U^2 \cdot R_H},$$

- ослабление в децибелах

$$A(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{1}{H_P} = 20 \lg \frac{U}{U_H} + 10 \lg \frac{R_H}{R}.$$

5. Контрольные вопросы

5.1. Какие цепи называются резистивными?

5.2. Какое соединение элементов называется параллельным? Как рассчитать общее сопротивление двух параллельно соединенных резисторов?

5.3. Какое соединение элементов называется последовательным? Как рассчитать общее сопротивление двух последовательно соединенных резисторов?

5.4. В чем сущность принципа деления напряжения?

5.5. Как рассчитать напряжения на последовательно соединенных резисторах?

5.6. Что называется передаточной функцией по напряжению?

5.7. Как определяется передаточная функция цепи по мощности?

5.8. Как определяется ослабление цепи в дБ?

5.9. При какой нагрузке резистивный делитель имеет передаточную функцию по напряжению, равную

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.2)$$

5.10. Выведите формулу для расчета U_H , используя в качестве аргументов U , R_1 , R_2 , R_H .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (АЧХ) СЕТЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

1. Цель работы: изучить основные методы исследования амплитудно-частотных характеристик сетевых фильтров, построить графики АЧХ сетевых фильтров и сделать выводы.

2. Вопросы для самопроверки

- 2.1. Приведите классификацию электрических фильтров.
- 2.2. Что такое полосы прозрачности и затухания?
- 2.3. Для чего служат фильтры?
- 2.4. Амплитудно-частотная характеристика четырех типов фильтров.

3. Экспериментальная часть

Оборудование: генератор ГЗ-111, осциллограф, сетевые фильтры.

Выполнение работы

1. Подключить генератор ГЗ-111 к входу сетевого фильтра.
2. Подключить осциллограф к выходу сетевого фильтра.
3. Изменяя частоту генератора, измерить показания осциллографа в вольтах.

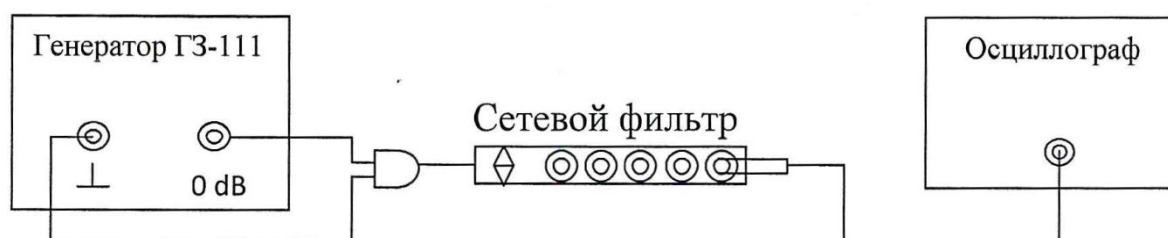


Рис.2.1. Схема подключения сетевого фильтра для проведения исследований

4. Заполнить таблицу и построить АЧХ каждого фильтра.

f (Гц)	Pilot GL (U)	Vector-z (U)	Импульс-4 (U)	Power Cube (U)
50				
100				
500				
1000				
5000				
10000				
20000				

25000				
30000				
40000				
50000				
100000				
500000				
1000000				
1500000				
2000000				

4. Сделать вывод. Определить, какой из фильтров имеет лучшие показатели.

4. Краткие сведения из теории

Электрический фильтр - это устройство, предназначенное для выделения или подавления электрических сигналов заданных частот.

По характеру полосы пропускаемых частот фильтры делятся на четыре типа:

- фильтр нижних частот (ФНЧ) - пропускает сигналы с частотой от 0 до f_v ;
- фильтр верхних частот (ФВЧ) - пропускает сигналы с частотой от f_n до бесконечности;
- полосовой фильтр (ФПП) - пропускает сигналы с частотой от f_n до f_v ;
- режекторный фильтр (РФ) - не пропускает сигналы заданной частоты или полосы частот.

Основные характеристики электрических фильтров – это полоса пропускания и избирательность.

Границы полос пропускания (f_v , f_n) определяются по частотам, на которых коэффициент усиления уменьшается в 0,707 раз.

Избирательность – мера, характеризующая способность фильтра разделять две группы колебаний с близкими частотами. Она определяется крутизной спада коэффициента передачи $K(f)$ на переходном участке от полосы пропускания к полосе подавления. Обычно крутизна спада оценивается в логарифмических единицах, Дб/окт: $D=20Lg(K(f_2)/K(f_1))$, где $f_2=2f_1$.

Фильтры бывают пассивные – состоящие только из пассивных элементов (резистор, конденсатор, катушка индуктивности) и активные, – в состав которых входят усилительные элементы.

Пассивные фильтры используют только энергию фильтруемого сигнала, активные – используют дополнительно подведенную энергию.

Любой электрический фильтр составляется из частотно зависимых элементов, то есть элементов, сопротивление которых зависит от частоты. Такими элементами являются конденсаторы и катушки индуктивности.

В зависимости от величин, входящих в состав фильтра индуктивностей

и емкостей, и способа их соединения можно получить фильтры с различной частотной зависимостью общего сопротивления.

В общем виде фильтр представляет собой четырехполюсник (т. е. устройство с двумя входными и двумя выходными зажимами), в состав которого входят реактивные элементы (L и C) в различных вариантах соединения.

Схема фильтра может состоять из одного звена или нескольких последовательно соединенных звеньев. Различают Г-образные, Т-образные и П-образные звенья.

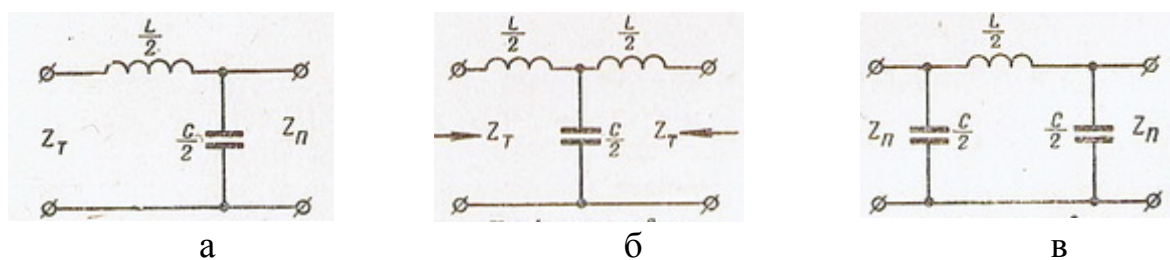


Рис. 2.2. Схемы соединения фильтров: а – Г-образное звено; б – Т-образное звено; в – П-образное звено

Реактивные элементы могут включаться в один или оба провода четырехполюсника.

В первом случае фильтр называют симметричными, во втором — несимметричным.

Качество фильтра может оцениваться по тому, какое ослабление претерпевают в нем электрические сигналы различных частот: для сигналов заданной частоты (или полосы частот) это ослабление должно быть незначительным, а для сигналов всех остальных частот — очень большим. Ослабление сигналов можно оценить по отношению напряжения (тока) на входе фильтра к напряжению на выходе.



Рис.2.3. Схемы соединения реактивных элементов: а – симметричный фильтр; б - несимметричный фильтр

В зависимости от того, какое затухание претерпевают в фильтре сигналы различных частот, различают следующие основные типы фильтров:
- фильтры нижних частот;

- фильтры верхних частот;
- полосовые фильтры;
- режекторные фильтры.

Фильтры нижних частот. Фильтром нижних частот называется электрический фильтр, обладающий небольшим затуханием на всех частотах ниже некоторой предельной частоты и очень большим затуханием на всех частотах выше предельной частоты.

Таким образом, фильтр нижних частот пропускает, практически не ослабляя, токи всех частот ниже предельной частоты и практически пропускает токи более высоких частот. На рисунке показана схема однозвенного Т-образного фильтра нижних частот.

Действие фильтра основано на том, что индуктивное сопротивление катушки X_L прямо пропорционально частоте ($X_L = 2\pi fL$), а емкостное сопротивление конденсатора X_C обратно пропорционально частоте ($X_C = 1/2\pi fC$). Чем выше частота тока, тем больше падение напряжения на катушке и больше утечка тока через конденсатор, то есть при увеличении частоты тока затухание фильтра возрастает. График, выражающий зависимость затухания фильтра от частоты тока, называется частотной характеристикой затухания фильтра.

Частотная характеристика затухания фильтра нижних частот представлена на рисунке.

Полоса частот, которую фильтр пропускает с небольшим затуханием, называется полосой пропускания.

Полоса частот, которую фильтр практически не пропускает (за счет большого затухания), называется полосой затухания.

Например, фильтр нижних частот с предельной частотой 3кГц пропускает постоянный ток и переменные токи всех частот ниже 3кГц, а токи всех частот выше 3кГц не пропускает. Таким образом, он имеет полосу пропускания $0 \div 3\text{кГц}$ и полосу затухания $3\text{кГц} \div \infty$.

Предельную частоту фильтра иногда называют частотой среза и обозначают f_0 .

Частота среза фильтра нижних частот может быть определена по формуле

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}},$$

где f_0 - частота среза, Гц; L - индуктивность, Гн; C - емкость, фФ.



Рис.2.5. График затухания фильтра нижних частот

Для улучшения качества фильтра необходимо обеспечить резкое увеличение затухания для всех частот выше предельной. Естественно, что с помощью одного звена фильтра данное требование не может быть обеспечено. Увеличение крутизны частотной характеристики достигается последовательным соединением нескольких звеньев, то есть с помощью многозвенных фильтров.

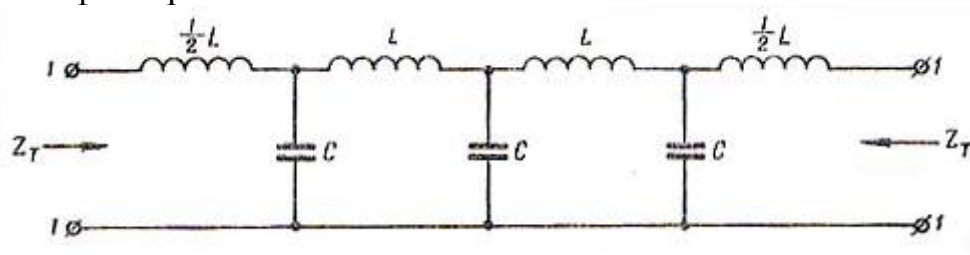


Рис.2.6. Схема многозвенного фильтра нижних частот

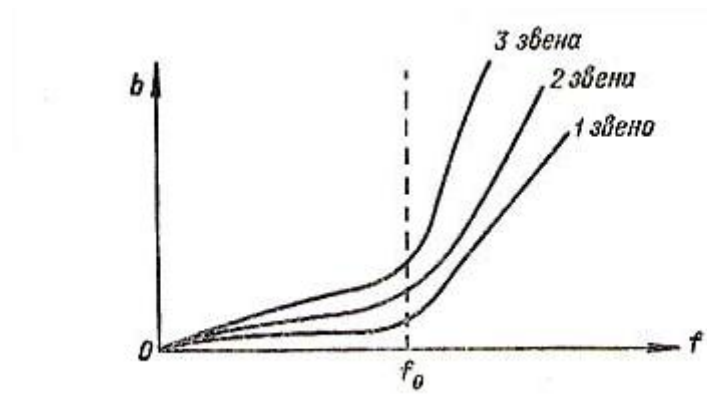


Рис. 2.7. Частотные характеристики однозвенного и многозвенных фильтров нижних частот

Фильтры верхних частот. Фильтром верхних частот называется электрический фильтр, обладающий небольшим затуханием на всех частотах выше некоторой предельной частоты и очень большим затуханием на всех частотах ниже предельной частоты.

Фильтр верхних частот пропускает, практически не ослабляя, токи всех частот выше предельной частоты и практически не пропускает токи более низких частот.

В отличие от схемы фильтра нижних частот в схеме фильтра верхних частот емкости включены в последовательное плечо, а индуктивность — в параллельное, то есть вместо катушек включены конденсаторы, и наоборот.

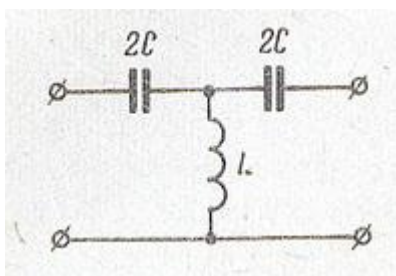


Рис. 2.8. Схема однозвенного фильтра верхних частот

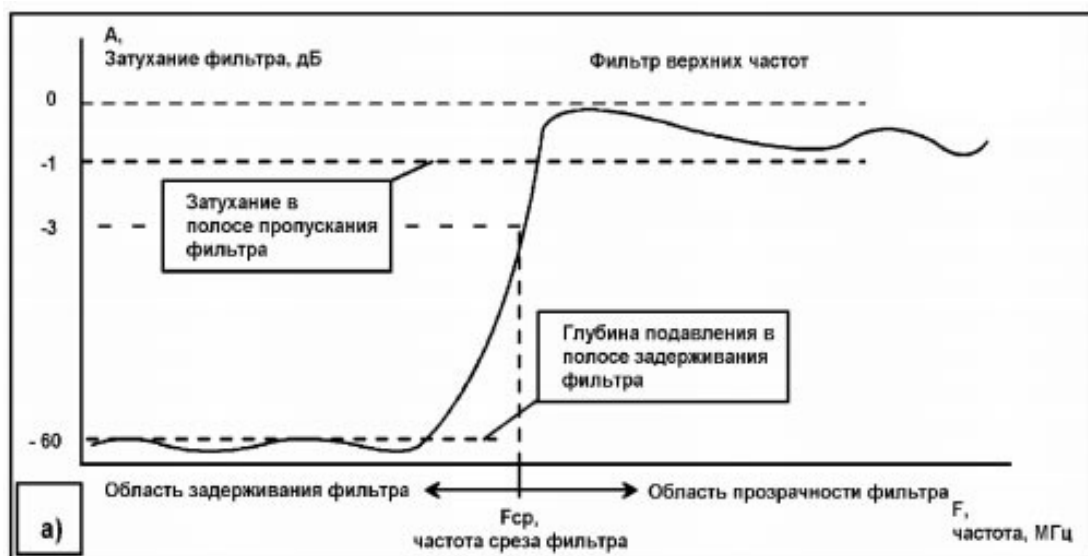


Рис. 2.9. График затухания фильтра верхних частот

Как видно из схемы, фильтр верхних частот не пропускает постоянный ток, а для токов, частота которых ниже критической, емкостное сопротивление конденсаторов велико, а индуктивное сопротивление катушки мало, следовательно, затухание фильтра велико. При частоте тока выше критической емкостное сопротивление конденсаторов уменьшается, а индуктивное сопротивление катушки возрастает, что приводит к уменьшению затухания фильтра.

Частота среза фильтра может быть определена по формуле аналогично фильтру нижних частот.

Полосовой фильтр. Полосовой фильтр - это частоточувствительная схема, которая пропускает узкий диапазон частот в окрестности центральной резонансной частоты (f_0).

Режекторный фильтр представляет собой противоположность полосовому фильтру. Он подавляет или устраняет сигналы, частоты которых попадают в узкий диапазон с *центральной* частотой f_c . Все частоты выше и ниже центральной частоты фильтр пропускает с минимальным ослаблением. Режекторный фильтр иногда называют вырезающим фильтром, поскольку этот фильтр используется для вырезания или режекции мешающего сигнала одной частоты.

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Что такое частота среза фильтра?
- 5.2. Схемы П-образных фильтров НЧ (RC и LC).
- 5.3. Схемы П-образных фильтров ВЧ (RC и LC).
- 5.4. Схемы Т-образных фильтров НЧ (RC и LC).
- 5.3. Схемы Т-образных фильтров ВЧ (RC и LC).
- 5.6. Формула реактивного сопротивления ёмкости.
- 5.7. Формула реактивного сопротивления индуктивности.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

1. Цель работы

1. Изучение методов измерения параметров параллельного контура.
2. Получение навыков использования измерительных приборов.
3. Получение навыков в построении АЧХ и ФЧХ по имеющимся данным.

2. Вопросы для самопроверки

- 2.1. Что называется комплексной передаточной функцией цепи $H(j\omega)$?
- 2.2. Дайте определения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик цепи. Как они связаны с комплексной передаточной функцией?
- 2.3. Что называется полосой пропускания колебательного контура?
- 2.4. Что такое собственная частота колебательного контура?
- 2.5. В чем состоит физический смысл добротности? Какова размерность добротности?

3. Экспериментальная часть

Для проведения измерений используется лабораторная установка «Теория линейных электрических цепей».

Лицевая панель макета разделена на несколько функциональных полей, на которых сосредоточены необходимые для проведения работ объекты.

В экспериментальной части необходимо:

- определить резонансную частоту f_0 и полосу пропускания колебательного контура $\Delta f_{A\ 0,707}$;
- рассчитать значения измерительных частот;
- определить значения АЧХ и ФЧХ;
- построить графики АЧХ и ФЧХ;
- определить полосу пропускания $\Delta f_{A\ 0,707}$ и эквивалентную добротность Q_{Σ} колебательного контура;
- сравнить экспериментальные результаты с расчетными;
- выявить влияние внутреннего сопротивления генератора на эквивалентную добротность контура.

Принципиальная схема проведения измерений представлена на рис.

- 3.1. Источником гармонических колебаний является генератор НЧ (выход G2 «0 дБ»). Для измерения выходного напряжения генератора U_{Γ} используется вольтметр PV1. Напряжение U_K измеряется вольтметром PV2.

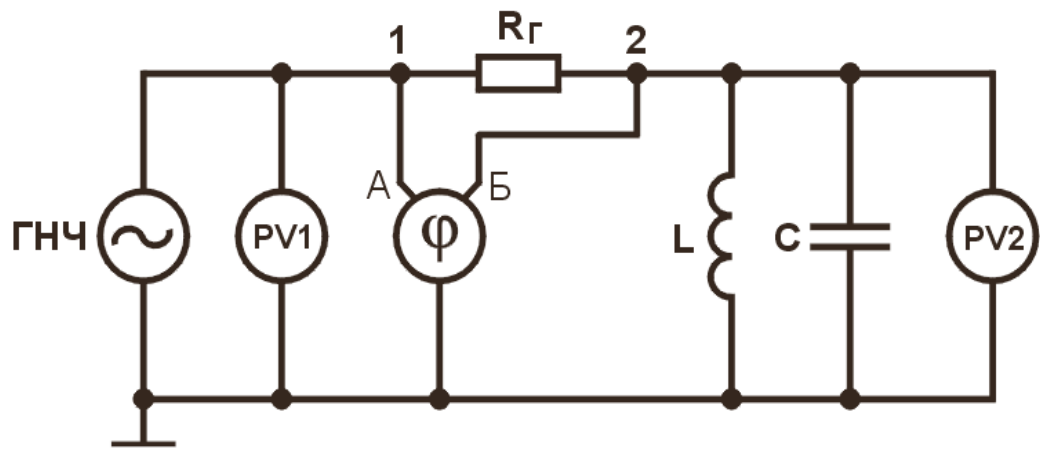


Рис. 3.1. Принципиальная схема определения АЧХ и ФЧХ параллельного колебательного контура

Схема соединения элементов установки представлена на рис. 3. 2. Чтобы погрешность измерения напряжения была наименьшей, следует вольтметры PV1 и PV2 подключить «минусом» к общей точке «⊥» (см. «Техническое описание лабораторной установки»).

Установите предел измерения вольтметра PV1 равным 20В, вольтметра PV2 – равным 20В (в процессе проведения измерений может быть изменен на другой). Тумблеры переключения режимов работы вольтметров установите в положение измерения переменного напряжения (U~). Регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора. Собранную схему предъявите преподавателю. После проверки преподавателем собранной схемы включите установку.

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_{\Gamma} = 3\text{В}$. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора.

Изменяя частоту генератора вблизи расчетного значения собственной частоты колебательного контура f_0 , найдите реальную резонансную частоту контура по максимальному показанию вольтметра PV2 или по нулевому показанию фазометра. Запишите измеренное значение $f_{0\text{ изм}}$. По показаниям PV2 запишите напряжение на контуре при резонансе $U_{\text{кр}}$.

Изменяя частоту генератора выше и ниже $f_{0\text{ изм}}$, найдите верхнюю и нижнюю граничные частоты $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$ по показаниям вольтметра PV2, равным $U_{\text{к}} = 0,707 U_{\text{кр}}$. Запишите измеренные значения $f_{\text{в}}$ и $f_{\text{н}}$. Рассчитайте абсолютную полосу пропускания Δf_A на уровне 0,707 и эквивалентную добротность $Q_{\text{э}}$. Запишите полученные значения параметров контура.

$$\Delta f_A = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}. \quad (3.1)$$

$$Q_{\text{э}} = \frac{f_0}{\Delta f_A}. \quad (3.2)$$

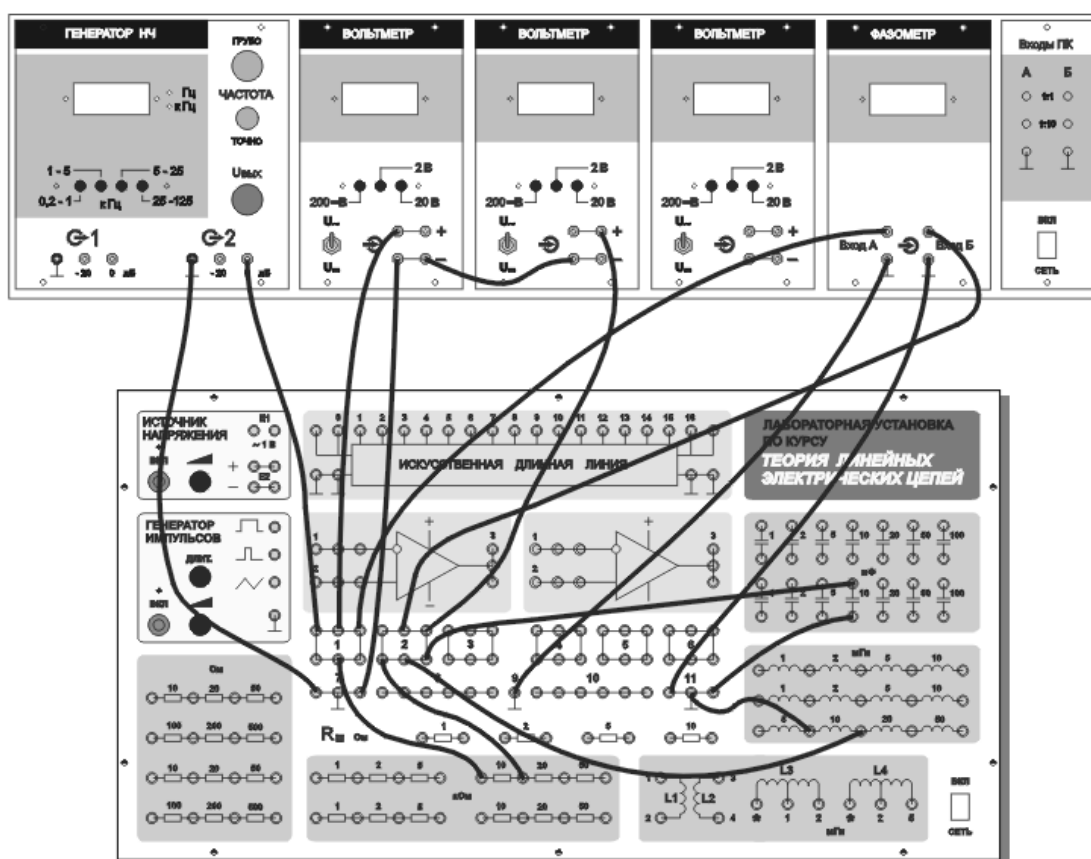


Рис. 3.2. Схема соединения элементов установки для определения АЧХ и ФЧХ параллельного колебательного контура ($R_r = 10 \text{ кОм}$)

Рассчитайте значения измерительных частот $f_{\text{изм}}$ таким образом, чтобы 5 – 7 измерительных частот попали в полосу пропускания контура. Остальные частоты должны соответствовать относительным расстройкам $\Delta f / f_0$ изм следующих порядков: -0,5; -0,2; -0,1; 0; +0,1; +0,2; +0,5; +1,0. Рассчитанные значения измерительных частот занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Экспериментальные значения АЧХ и ФЧХ параллельного колебательного контура при $R_r = 10 \text{ кОм}$

$f_{\text{изм}}$, кГц								f_0 изм							
$U_K(\omega)$, В															
U_K / U_{KP}															
$H(\omega)$															
$\varphi_K(\omega)$, град.															

Устанавливая частоту генератора согласно значениям, приведенным в табл. 3.1, занесите в табл. 3.1 значения U_K по показаниям вольтметра PV2.

Запишите в таблицу сдвиг фаз φ_K между напряжением генератора и напряжением на контуре по показаниям фазометра.

По окончании измерений регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Рассчитайте U_K / U_{KR} для каждого значения частоты генератора. Рассчитайте значение модуля коэффициента передачи цепи для каждого значения частоты $H(\omega) = U_K / U_G$. Результаты вычислений занесите в табл. 2. Постройте графики полученных экспериментальных зависимостей U_K / U_{KR} , $H(\omega)$ и $\varphi_R(\omega)$. По графику U_K / U_{KR} определите полосу пропускания и эквивалентную добротность колебательного контура. Запишите полученные значения параметров контура. Сравните с ранее рассчитанными параметрами. Для определения влияния внутреннего сопротивления генератора на эквивалентную добротность контура установите $R_G = 5 \text{ кОм}$. Для этого произведите изменения в соединении элементов установки (вместо резистора 10кОм подключите резистор 5кОм).

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_G = 3\text{В}$. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора.

Изменяя частоту генератора вблизи расчетного значения собственной частоты колебательного контура f_0 , найдите реальную резонансную частоту контура $f_{0 \text{ изм}}$ по максимальному показанию вольтметра PV2. По показаниям PV2 запишите напряжение на контуре при резонансе U_{KR} .

Изменяя частоту генератора выше и ниже $f_{0 \text{ изм}}$, найдите верхнюю и нижнюю граничные частоты f_B и f_H по показаниям вольтметра PV2, равным $U_K = 0,707 U_{KR}$. Запишите измеренные значения f_B и f_H .

По окончании измерений регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Рассчитайте абсолютную полосу пропускания Δf_A на уровне 0,707 и эквивалентную добротность Q_{Σ} . Запишите новые значения параметров контура. Сравните их с параметрами, полученными в результате эксперимента при $R_G = 10 \text{ кОм}$.

Установите $R_G = 50 \text{ кОм}$. Для этого произведите изменения в соединении элементов установки (вместо резистора 5 кОм подключите резистор 50 кОм).

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_G = 3 \text{ В}$. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора.

Изменяя частоту генератора вблизи расчетного значения собственной частоты колебательного контура f_0 , найдите реальную резонансную частоту контура $f_{0 \text{ изм}}$ по максимальному показанию вольтметра PV2. По показаниям PV2 запишите напряжение на контуре при резонансе U_{KR} .

Изменяя частоту генератора выше и ниже $f_{0 \text{ изм}}$, найдите верхнюю и нижнюю граничные частоты f_B и f_H по показаниям вольтметра PV2, равным $U_K = 0,707 U_{KR}$. Запишите измеренные значения f_B и f_H .

По окончании измерений регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора. Рассчитайте абсолютную полосу пропускания Δf_A на уровне 0,707 и эквивалентную добротность Q_{Σ} . Запишите новые значения параметров контура. Сравните их с параметрами, полученными в результате эксперимента при $R_{\Gamma} = 10 \text{ кОм}$.

Сделайте выводы о влиянии внутреннего сопротивления генератора на параметры параллельного колебательного контура.

4. Краткие сведения из теории

В параллельном колебательном контуре возникает явление резонанса токов. Частоту f_0 , на которой наблюдается резонанс токов, называют резонансной.

На рис. 3.3 изображена схема параллельного колебательного контура с реактивными элементами L и C . Резистор R_{Γ} характеризует внутреннее сопротивление генератора.

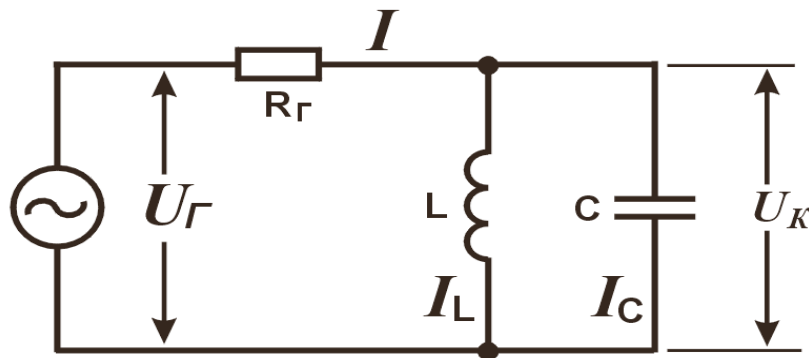


Рис. 3.3. Параллельный колебательный контур

Для контура без потерь или с малыми потерями уравнение резонансной частоты равно

$$\omega_p = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} . \quad (3.3)$$

Эквивалентное сопротивление контура на резонансной частоте с учетом потерь

$$R_{0\Sigma} = \frac{\rho^2 + R^2}{R} , \quad (3.4)$$

где R – обобщенное сопротивление потерь.

Для идеального контура без потерь $R_{0\Sigma} = \infty$. Для контура с малыми потерями

$$R_{0\Sigma} \approx \frac{\rho^2}{R} = Q^2 R = Q\rho = \frac{L}{RC} . \quad (3.5)$$

Ток в неразветвленной части цепи при резонансе

$$I_0 = \frac{U}{R_{0\Sigma}} = \frac{U}{Q^2 R} . \quad (3.6)$$

Действующие значения токов в ветвях контура при резонансе

$$I_{L0} = I_{C0} = \frac{U}{\rho} = \frac{U}{Q \cdot R} . \quad (3.7)$$

При резонансе ток в ветвях контура в Q раз больше тока в неразветвленной части цепи.

На резонансные свойства параллельного контура заметное влияние оказывает внутреннее сопротивление генератора, к которому подключен контур. Для оценки влияния внутреннего сопротивления генератора вводится понятие эквивалентной добротности контура

$$Q_{\varepsilon} = \frac{Q}{1 + \frac{R_{0\varepsilon}}{R_r}} . \quad (3.8)$$

Абсолютная и относительные полосы пропускания

$$\Delta f_A = \frac{f_0}{Q_{\varepsilon}} = \frac{f_0}{Q} \cdot \left(1 + \frac{R_{0\varepsilon}}{R_r} \right) . \quad (3.9)$$

$$\delta f_0 = \frac{\Delta f_A}{f_0} = d \cdot \left(1 + \frac{R_{0\varepsilon}}{R_r} \right) . \quad (3.10)$$

Из уравнений видно, что параллельный колебательный контур в общем случае имеет более широкую полосу пропускания, чем последовательный с такой же добротностью. И только при $R_r = \infty$ их полосы пропускания равны.

АЧХ параллельного контура относительно напряжения на контуре U_K , нормированного к напряжению на контуре при резонансе U_{KP} .

$$\frac{U_K}{U_{KP}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_{\varepsilon}^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} . \quad (3.11)$$

ФЧХ параллельного колебательного контура

$$\varphi(\omega) = \arctg \left[Q_{\varepsilon} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right] . \quad (3.12)$$

Расчетная часть

Для параллельного колебательного контура, у которого $L = 10$ мГн, $C = 10$ нФ, $R = 10$ Ом, $R_r = 10$ кОм, рассчитайте собственную круговую ω_0 и циклическую f_0 частоты, добротность Q, эквивалентную добротность Q_{ε} , характеристическое сопротивление ρ и полосу пропускания Δf_A на уровне 0,707. Результаты расчетов занесите в таблицу 1.

Таблица 3.2

Расчетные параметры параллельного колебательного контура

L, мГн	C, нФ	R, Ом	R _Г , кОм	ω_0 , рад/с	f ₀ , кГц	Q	Q _Э	ρ , Ом	Δf_A 0,707
10	10	10	10						

Содержание отчета

Итогом работы является серия измерений, снятых в контрольных точках.

В отчете необходимо привести:

- цель работы;
- схему измерений;
- значения измеренных величин;
- выводы по выполненным исследованиям.

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Как практически определить добротность контура?
- 5.2. Что такое расстройка колебательного контура? Какие виды расстройки контура вы знаете? В чем между ними разница?
- 5.3. При каких условиях возникает резонанс в контуре?
- 5.4. Почему резонанс в параллельном колебательном контуре называется резонансом токов?
- 5.5. Является ли колебательный контур усилительным элементом?
- 5.6. Каков характер сопротивления контура на резонансной частоте? на частоте ниже резонансной? на частоте выше резонансной?
- 5.7. Что такое характеристическое сопротивление контура?
- 5.8. Какова величина сдвига фаз при резонансе между токами в ветвях контура?
- 5.9. Что можно сказать о величине тока, протекающего в неразветвленной части цепи при резонансе?
- 5.10. Как влияет внутреннее сопротивление генератора на параметры контура?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4***ИЗМЕРЕНИЕ ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТИ***

1. **Цель работы:** изучить наиболее распространенные методы измерения индуктивности и взаимной индуктивности.

2. Вопросы для самопроверки

- 2.1. Что представляет собой реактивные элементы в цепи переменного тока? Каков их физический смысл и единицы измерения в системе «СИ».
- 2.2. В чем заключается явление взаимной индукции?

- 2.3 Коэффициент взаимной индукции и единицы его измерения.
 2.4 Обосновать способ измерения коэффициента взаимной индукции.

3. Экспериментальная часть

В экспериментальной части необходимо:

- определить индуктивность катушки L1;
- определить индуктивность катушки L2;
- соединить последовательно катушки L1 и L2 и определить их общую индуктивность;
- изменить порядок соединения катушек L1 и L2 и определить их общую индуктивность;
- обозначить в отчете начало и конец катушек L1 и L2;
- рассчитать взаимную индуктивность M и коэффициент связи k катушек L1 и L2.

Для определения индуктивности неизвестной катушки следует воспользоваться схемой измерения, изображенной на рис. 4.1.

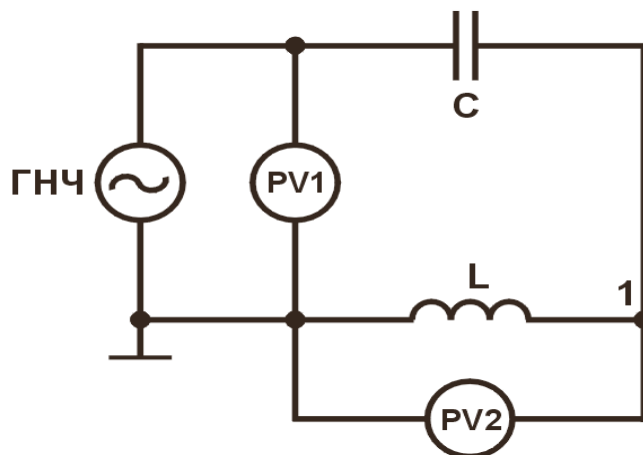


Рис. 4.1. Принципиальная схема определения индуктивности катушки

Последовательно с катушкой L, индуктивность которой неизвестна, включен конденсатор с известной емкостью C. Если подобрать частоту генератора f_p так, чтобы в цепи наблюдался резонанс напряжений, то индуктивность можно определить из следующего соотношения

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_p \cdot C} \quad (4.1)$$

Источником гармонических колебаний является генератор НЧ (выход G1 «-20 дБ»). Для измерения выходного напряжения генератора U_G используется вольтметр PV1. Напряжение U_L на катушке индуктивности измеряется вольтметром PV2. Наличие резонанса определяется по максимальному показанию вольтметра PV2.

Схема соединения элементов установки для определения индуктивности катушки L1 представлена на рис. 4.1.

На схеме в качестве примера показан конденсатор $C = 10$ нФ. При подготовке измерения подключите в схему конденсатор, емкость которого определена в процессе проведения предварительных расчетов.

Чтобы погрешность измерения напряжения была наименьшей, следует вольтметры PV1 и PV2 подключить «минусом» к общей точке «⊥» (см. «Техническое описание лабораторной установки»).

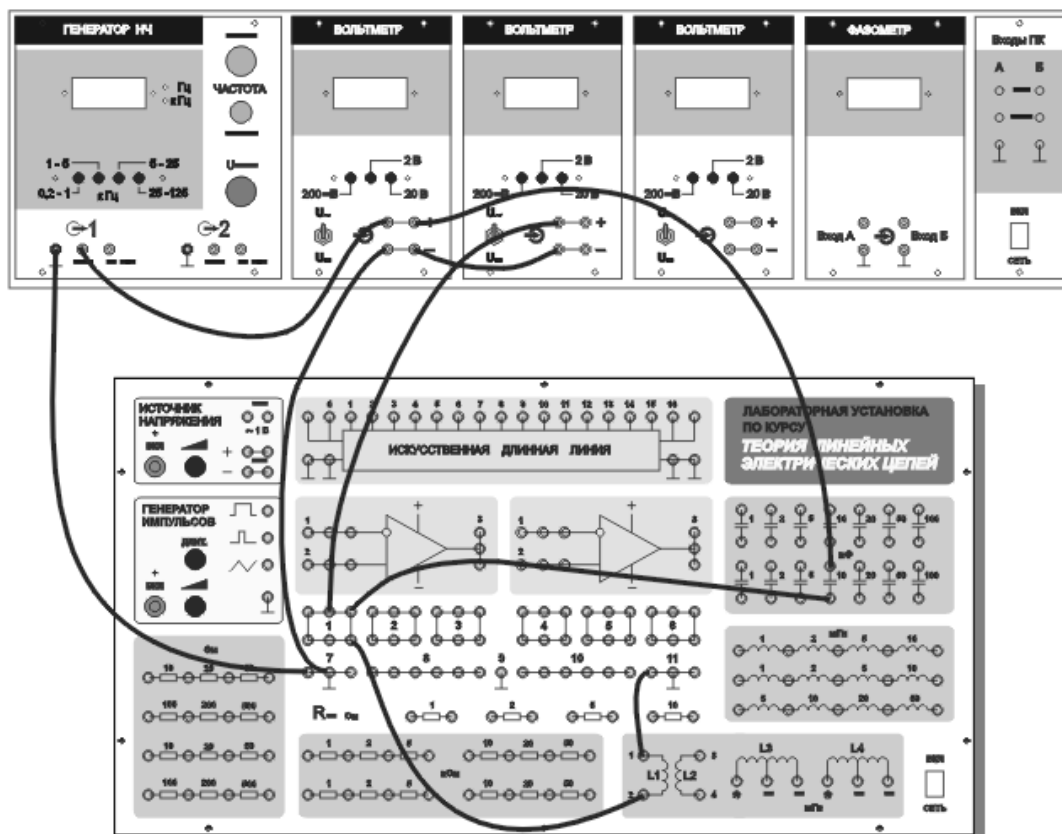


Рис. 4.2. Схема соединения элементов установки для определения индуктивности катушки $L1$ ($C = 10$ нФ)

Установите предел измерения вольтметра PV1 равным 0,2 В, вольтметра PV2 – равным 2 В (в процессе проведения измерений может быть изменен на другой). Тумблеры переключения режимов работы вольтметров установите в положение измерения переменного напряжения (U_{\sim}). Регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора. Собранный схему предъявите преподавателю. После проверки преподавателем собранной схемы включите установку.

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_{\Gamma} = 0,1$ В. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора. Изменяя частоту генератора в диапазонах частот 1 кГц – 5 кГц и 5 кГц – 25 кГц, найдите резонансную частоту f_r колебательного контура по максимальному показанию вольтметра PV2. Запишите значение f_r в таблицу. Рассчитайте индуктивность катушки.

Результат расчета занесите в табл.4.1.

По окончании измерения регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Подключите в схеме измерения катушку L2 вместо катушки L1.

Таблица 4.1

Результаты определения индуктивности катушек

Номер катушки, номера выводов, последовательность соединения	C, нФ	f_p , кГц	Значение индуктивности, мГн
L1 (1 – 2)			
L2 (3 – 4)			
Последовательно L1 и L2 (1 – 2 – 3 – 4)			
Последовательно L1 и L2 (1 – 2 – 4 – 3)			

По окончании измерения регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Подключите в схеме измерения катушку L2 вместо катушки L1.

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_r = 0,1$ В. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора. Изменяя частоту генератора в диапазонах частот 1 кГц – 5 кГц и 5 кГц – 25 кГц, найдите резонансную частоту f_p колебательного контура по максимальному показанию вольтметра PV2. Запишите значение f_p в табл. 4.1. Рассчитайте индуктивность катушки. Результат расчета занесите в табл. 4.1.

По окончании измерения регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Подготовьте установку к измерению индуктивности катушки, полученной в результате последовательного соединения L1 и L2 (рис. 4.3 и 4.4). При этом соедините между собой вывод 2 катушки L1 с выводом 3 катушки L2.

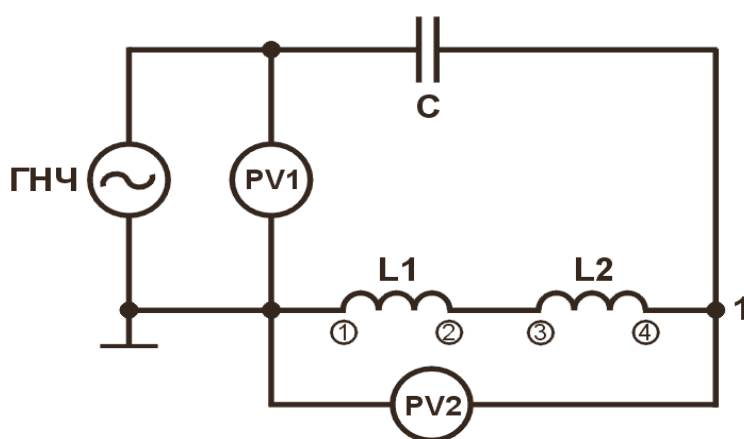


Рис. 4.3. Принципиальная схема определения индуктивности последовательно соединенных катушек L1 и L2 (вариант 1)

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_r = 0,1$ В. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах

генератора. Изменяя частоту генератора в диапазонах частот 1 кГц – 5 кГц и 5 кГц – 25 кГц, найдите резонансную частоту f_r колебательного контура по максимальному показанию вольтметра PV2. Запишите значение f_r в табл.4.1. Рассчитайте индуктивность катушки. Результат расчета занесите в табл.4. 1.

По окончании измерения регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

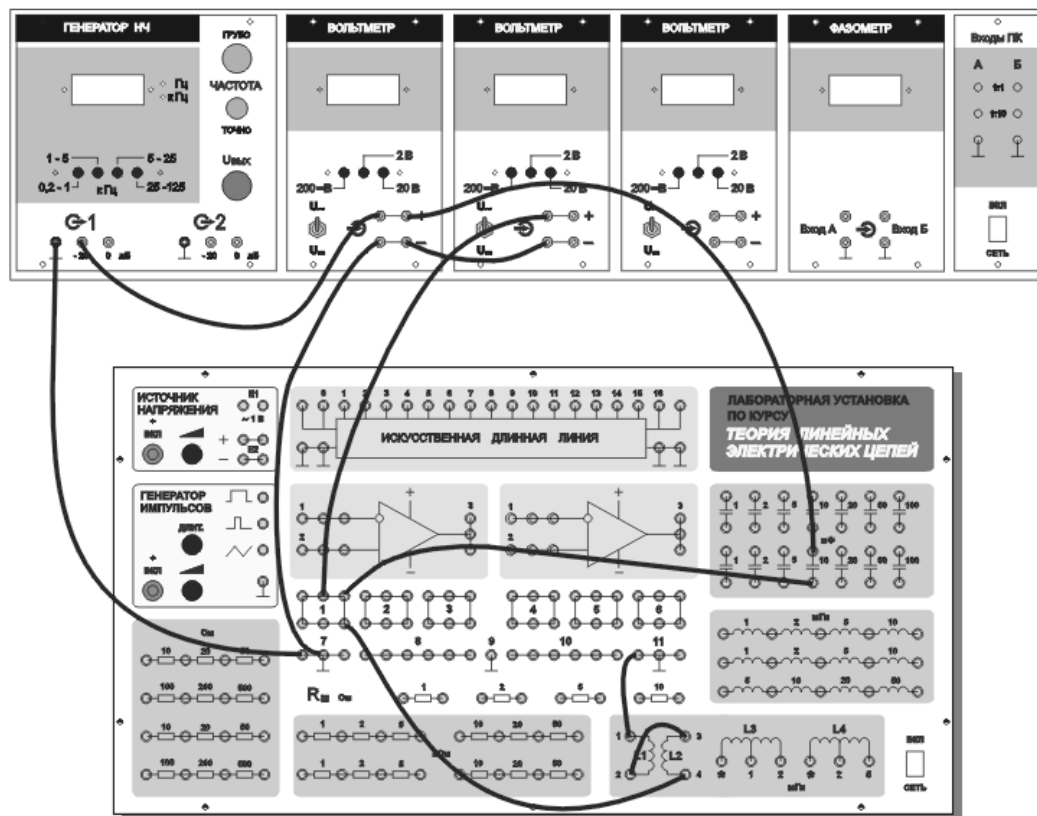


Рис. 4.4. Схема соединения элементов установки для определения индуктивности последовательно соединенных катушек L1 и L2 (вариант 1)

Измените соединение катушек L1 и L2. Соедините между собой вывод 2 катушки L1 с выводом 4 катушки L2 (рис. 4.5, 4.6).

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_r = 0,1$ В. В дальнейшем поддерживайте эту величину постоянной на всех частотах генератора. Изменяя частоту генератора в диапазонах частот 1 кГц – 5 кГц и 5 кГц – 25 кГц, найдите резонансную частоту f_r колебательного контура по максимальному показанию вольтметра PV2. Запишите значение f_r в табл. 4.1. Рассчитайте индуктивность катушки. Результат расчета занесите в табл. 4.1.

По окончании измерения регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора.

Проанализируйте результаты измерения индуктивности катушек. В отчете приведите в соответствие начало и конец катушек L1 и L2 и номера их выводов. Рассчитайте взаимную индуктивность M и коэффициент связи k катушек L1 и L2.

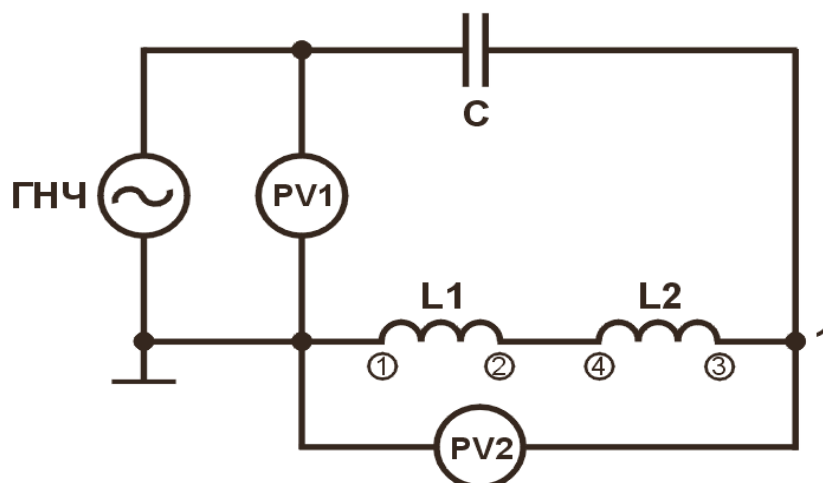


Рис. 4.5. Принципиальная схема определения индуктивности последовательно соединенных катушек L1 и L2 (вариант 2)

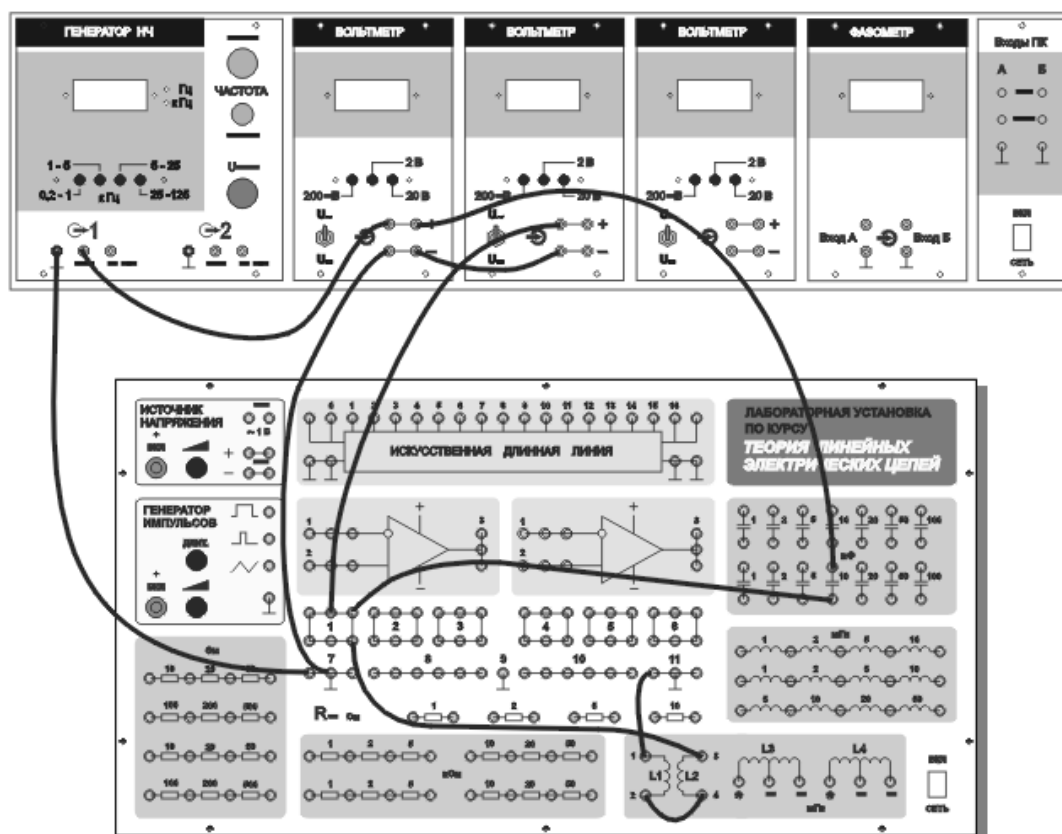


Рис. 4.6. Схема соединения элементов установки для определения индуктивности последовательно соединенных катушек L1 и L2 (вариант 2)

Расчетная часть

В данной лабораторной работе определяются параметры индуктивно связанных катушек L1 и L2. Индуктивность катушек лежит в пределах 1 -10 мГн, необходимо определить точное их значение.

Для определения индуктивности катушек используется резонансный метод. Известно, что при последовательном резонансе напряжение на реактивных элементах контура максимально. Если известна резонансная частота и емкость конденсатора, можно рассчитать индуктивность катушки.

В расчетной части нужно подобрать емкость конденсатора для проведения измерений в диапазоне частот генератора от 1 кГц до 25 кГц. Постарайтесь произвести расчет таким образом, чтобы полученная величина емкости конденсатора совпала с номиналами конденсаторов, имеющихся в составе лабораторной установки.

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (4.2)$$

4. Краткие сведения из теории

Если катушки (рис. 1) изготовлены таким образом, что магнитный поток одной пересекает витки другой, то между катушками имеется взаимная индуктивность. Коэффициент взаимной индукции равен

$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2}, \quad (4.3)$$

где k - коэффициент связи, характеризующий степень магнитной связи между катушками. Значение k изменяется в пределах от 0 (отсутствие связи) до 1 (жесткая или полная связь).

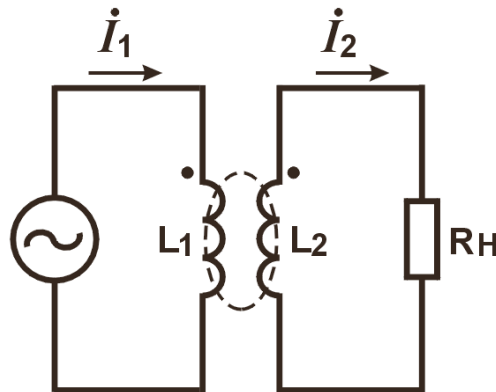


Рис. 4.7. Индуктивно связанные катушки

Взаимное направление магнитных потоков само- и взаимоиндукции зависит как от направления токов в катушках, так и от их взаимного расположения. Если катушки включаются таким образом, что потоки само- и взаимоиндукции складываются, то такое включение называется согласным. Если же потоки само- и взаимоиндукции вычитаются, то такое включение принято называть встречным.

Для компактности и удобства изображения электрических цепей с взаимной индуктивностью вводят понятие одноименных зажимов. Последними принято называть узлы, относительно которых одинаково ориентированные токи создают складывающиеся потоки само- и

взаимоиндукции. Такие узлы маркируют (например, жирной точкой или звездочкой) и называют «начало обмотки». Соответственно, обратный конец катушки называют «конец обмотки».

Взаимную индуктивность можно найти методом двукратного измерения.

Если соединить катушки согласно (рис. 4.8), то общая индуктивность при этом равна

$$L_C = L_1 + L_2 + 2M . \quad (4.4)$$



Рис. 4.8. Согласно соединение катушек индуктивности

При встречном соединении катушек (рис. 4.9) общая индуктивность

$$L_B = L_1 + L_2 - 2M . \quad (4.5)$$



Рис. 4.9. Встречное соединение катушек индуктивности

Взаимная индуктивность

$$M = \frac{L_C - L_B}{4} . \quad (4.6)$$

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Как следует изменить разметку одноименных узлов чтобы изменить знак взаимной индуктивности на обратный?
- 5.2. Что такое согласно и встречное соединение катушек?
- 5.3. Чему равны максимальное и минимальное значения коэффициента связи между катушками?
- 5.4. В каких единицах измеряется взаимная индуктивность?
- 5.5. Может ли суммарная индуктивность двух индуктивно связанных катушек быть равной 0?
- 5.6. Что понимается под явлением взаимоиндукции?
- 5.7. Что понимается под взаимной индуктивностью двух катушек?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИННОЙ ЛИНИИ ПРИ РЕЗИСТИВНЫХ НАГРУЗКАХ

1. Цель работы: экспериментально исследовать распределение напряжений вдоль однородной линии без потерь при различных значениях сопротивлений нагрузки.

2. Вопросы для самопроверки

2.1. Что такое длинная линия?

2.2. Какие параметры длинной линии называют первичными, а какие – вторичными?

2.3. При каких условиях длинная линия считается линией без потерь?

2.4. Каковы условия неискажающей линии?

2.5. Каков физический смысл фазовой скорости?

2.6. При каких режимах в линии возникают стоячие волны, бегущие волны, смешанные волны?

3. Экспериментальная часть

В экспериментальной части необходимо:

- подобрать частоту, при которой половина длины волны совпадает с эквивалентной длиной ИДЛ ($l = \lambda / 2$);
- исследовать распределение напряжения вдоль длинной линии в режиме согласованной нагрузки;
- исследовать распределение напряжения вдоль длинной линии, когда сопротивление нагрузки больше волнового сопротивления;
- исследовать распределение напряжения вдоль длинной линии, когда сопротивление нагрузки меньше волнового сопротивления;
- исследовать зависимость модуля входного сопротивления длинной линии от частоты сигнала при несогласованной и согласованной нагрузке.

Подготовьте лабораторную установку к определению частоты $f_{(1/2)}$, при которой половина длины волны совпадает с эквивалентной длиной ИДЛ. Принципиальная схема проведения измерений представлена на рис. 5.1. Схема соединения элементов установки представлена на рис. 5.2. Чтобы погрешность измерения напряжения была наименьшей, следует вольтметры PV1 и PV2 подключить «минусом» к общей точке «⊥» (см. «Техническое описание лабораторной установки»).

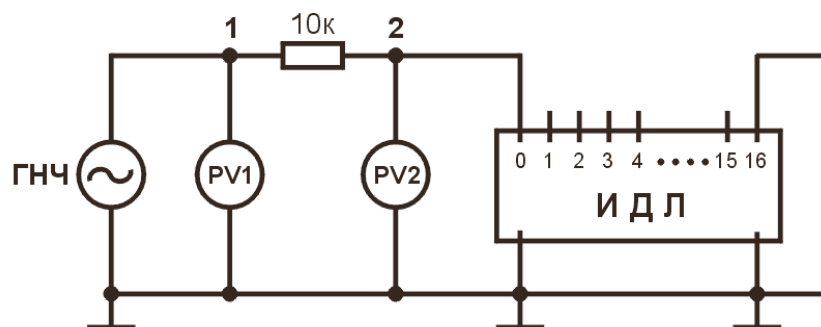


Рис. 5.1. Принципиальная схема проведения измерений для определения частоты $f_{(1/2)}$

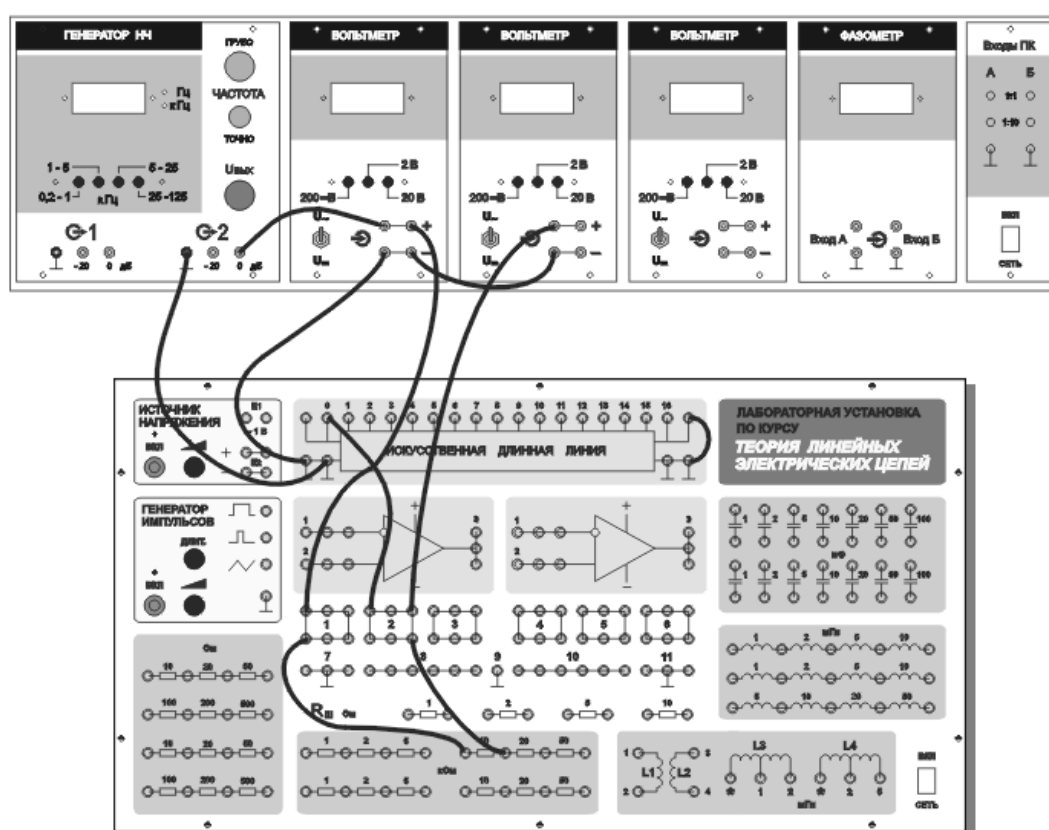


Рис. 5.2. Схема соединения элементов установки для определения частоты $f_{(1/2)}$

Установите предел измерения вольтметра PV1 равным 20 В, вольтметра PV2 – равным 2 В (в процессе проведения измерений может быть изменен на другой). Тумблеры переключения режимов работы вольтметров установите в положение измерения переменного напряжения (U_{\sim}). Регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора. Собранный схему предъявите преподавателю. После проверки преподавателем собранной схемы включите установку.

Установите выходное напряжение генератора НЧ $U_{\Gamma} = 5$ В.

Установите частоту генератора равной $f_{(1/4)}$, при которой четверть длины волны совпадает с эквивалентной длиной линии.

Удвойте частоту генератора. Изменяя частоту генератора в небольших пределах, найдите частоту, при которой входное сопротивление линии уменьшится до некоторого минимального значения. Вследствие этого показания вольтметра PV2 также уменьшатся до некоторого минимума.

Запишите значение частоты генератора $f_{(1/2)}$, при которой $l = \lambda / 2$. Все последующие измерения (кроме последнего эксперимента) в данной лабораторной работе будут производиться на найденной частоте.

Измерьте при найденной частоте распределение напряжения вдоль линии.

Схема проведения исследования дана на рис. 5.3. Схема соединения элементов установки представлена на рис. 5.4.

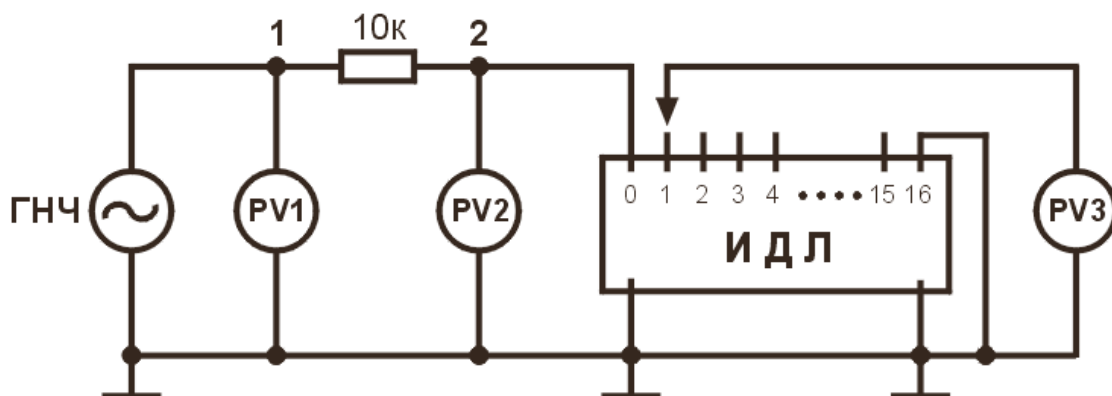


Рис. 5.3. Схема измерения распределения напряжения вдоль длинной линии в режиме нагрузки короткого замыкания

Присоединяя вход вольтметра PV3 последовательно ко всем отводам ИДЛ, измерьте распределение напряжения вдоль линии при найденной частоте. Результаты измерения занесите в табл. 5.1. По результатам измерений постройте график распределения напряжения в ИДЛ в режиме нагрузки короткого замыкания. Убедитесь, что частота $f_{(1/2)}$ выбрана правильно и обеспечивается один узел напряжения на среднем (восьмом) отводе ИДЛ.

Регулятор выходного напряжения генератора НЧ поверните против часовой стрелки до упора. В дальнейшем все переключения в схеме измерения следует проводить при нулевом выходном напряжении генератора.

Исследуйте распределение напряжения вдоль ИДЛ в режиме согласованной нагрузки $R_H = Z_B$.

В случае идеальной длинной линии без потерь при согласованной нагрузке действующее значение напряжения вдоль линии не изменяется. В реальной длинной линии из-за потерь напряжение вдоль линии монотонно

убывает. В каждой последующей точке ИДЛ колебания отстают по фазе от колебаний в предыдущей точке.

Таблица 5.1

Результаты измерения распределения напряжения вдоль ИДЛ ($l = \lambda / 2$) в режиме нагрузки короткого замыкания

№ отвода	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Напряжение на отводе, В																	

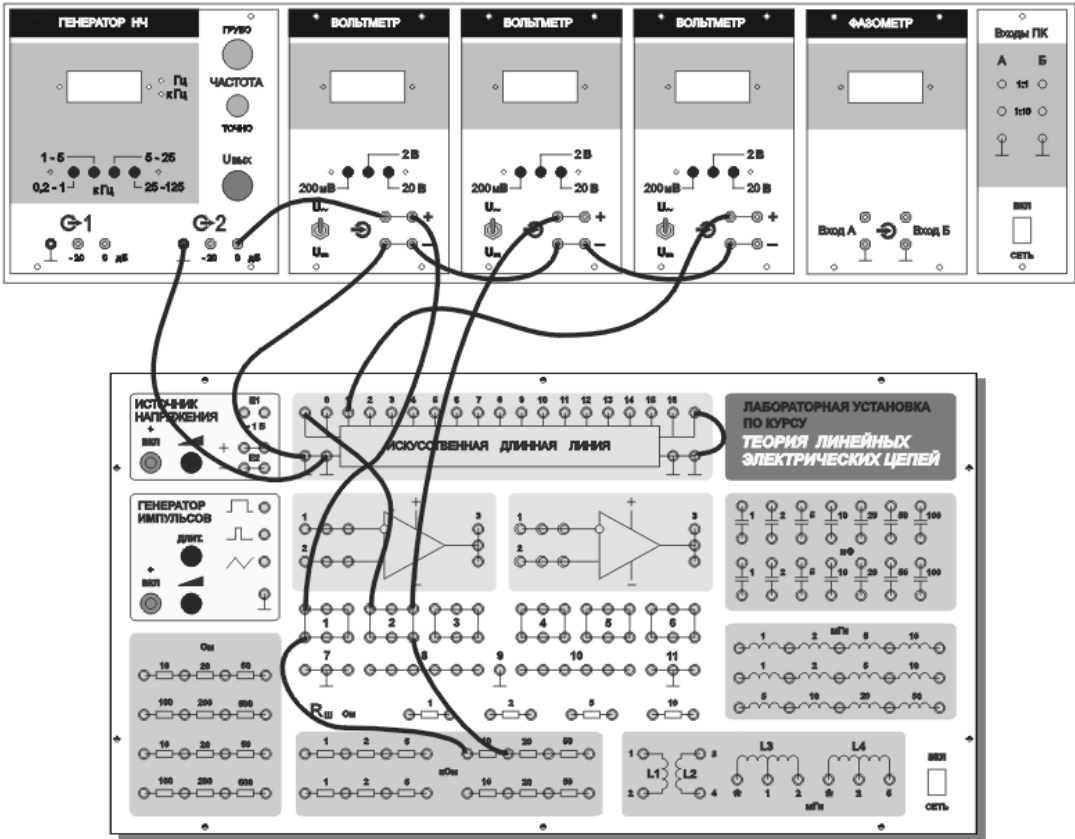


Рис. 5.4. Схема соединения элементов установки для измерения распределения напряжения вдоль ИДЛ в режиме нагрузки короткого замыкания

Схема проведения исследования дана на рис. 5.5. Схема соединения элементов установки представлена на рис. 5.6. Вход ИДЛ подключите к выходу G1 генератора для исключения влияния изменения входного сопротивления линии на величину входного напряжения ИДЛ (см. «Техническое описание лабораторной установки»). В качестве нагрузки ИДЛ подключите резистор, сопротивление которого равно волновому сопротивлению ИДЛ.

Результаты измерения занесите в табл. 5.2. По результатам измерений постройте график распределения модуля и фазы напряжения в ИДЛ ($l = \lambda / 2$) в режиме согласованной нагрузки.

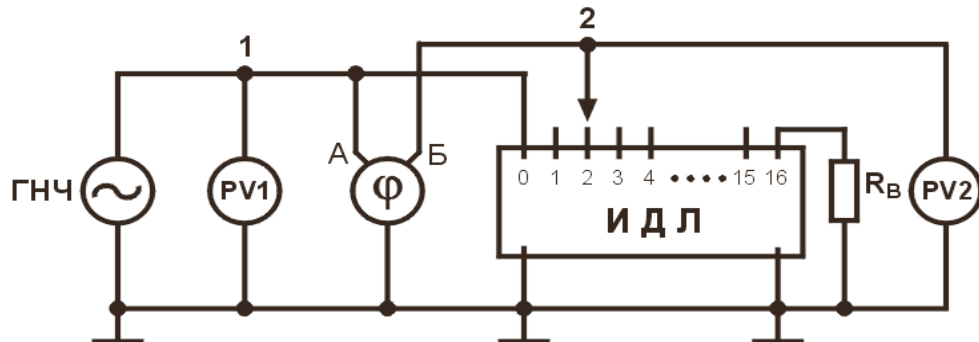


Рис. 5.5. Схема измерения распределения напряжения вдоль ИДЛ ($l = \lambda / 2$)

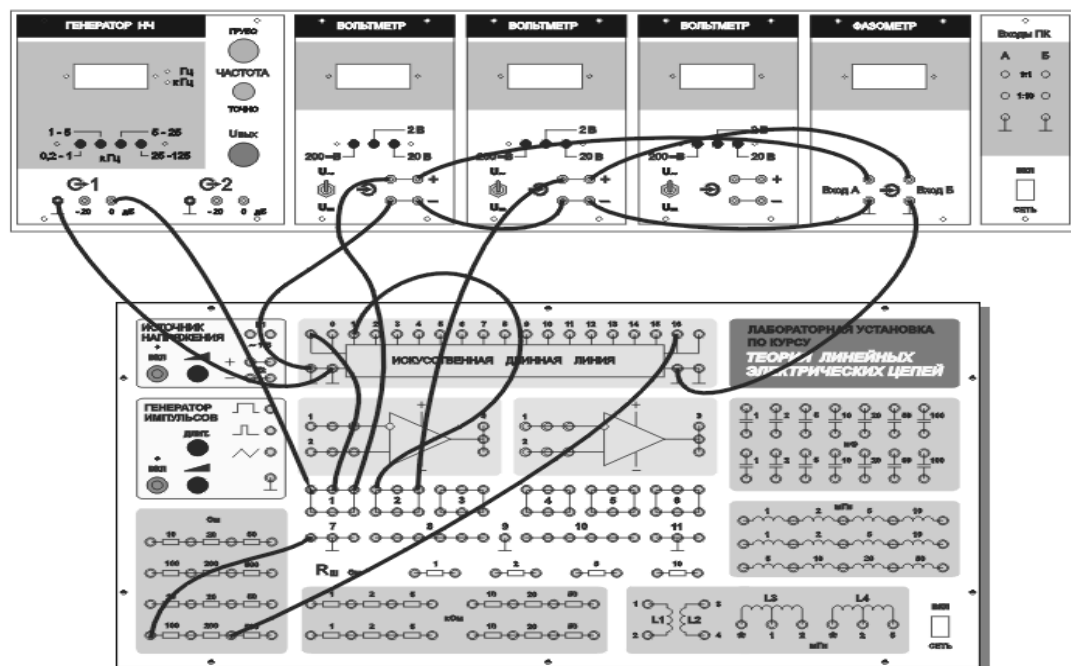


Рис. 5.6. Схема соединения элементов установки для измерения распределения напряжения вдоль ИДЛ ($l = \lambda / 2$)

Исследуйте распределение напряжения вдоль ИДЛ при резистивной нагрузке, когда $Z_H > Z_B$.

Схема проведения исследования такая же, как в предыдущем случае. В качестве нагрузки ИДЛ подключите резистор, сопротивление которого в 3 – 4 раза больше волнового.

Таблица 5.2

**Результаты измерения распределения напряжения вдоль
ИДЛ ($l = \lambda / 2$) в режиме согласованной нагрузки**

№ отвода	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Напряжение на отводе, В																	
$\varphi_B - \varphi_A$ (град.)																	

Результаты измерения занесите в табл. 5.2. По результатам измерений постройте график распределения модуля и фазы напряжения в ИДЛ ($l = \lambda / 2$) в режиме $Z_H > Z_B$.

Исследуйте распределение напряжения вдоль ИДЛ при резистивной нагрузке, когда $Z_H < Z_B$.

Схема проведения исследования такая же, как в предыдущем случае. В качестве нагрузки ИДЛ подключите резистор, сопротивление которого в 4 – 6 раза меньше волнового.

Результаты измерения занесите в табл. 5.2. По результатам измерений постройте график распределения модуля и фазы напряжения в ИДЛ ($l = \lambda / 2$) в режиме $Z_H < Z_B$.

Определите зависимость модуля входного сопротивления длинной линии от частоты сигнала при несогласованной нагрузке. Схема проведения исследования дана на рис. 5.7. Схема соединения элементов установки представлена на рис. 5.8. В качестве нагрузки ИДЛ подключите резистор, сопротивление которого в 3 – 6 раз больше волнового.

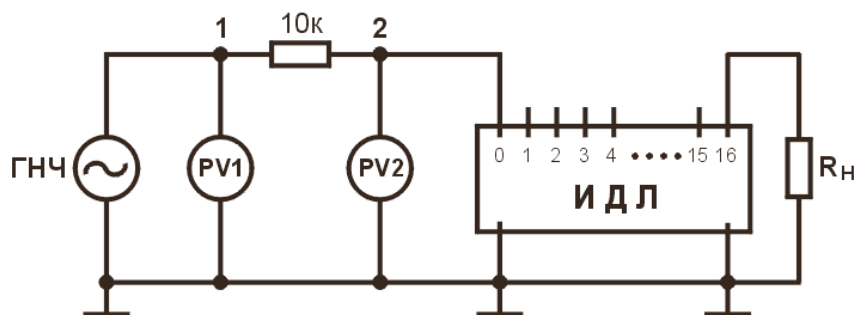


Рис. 5.7. Принципиальная схема проведения измерений для выявления зависимости $|Z_{BX}|$ от частоты сигнала

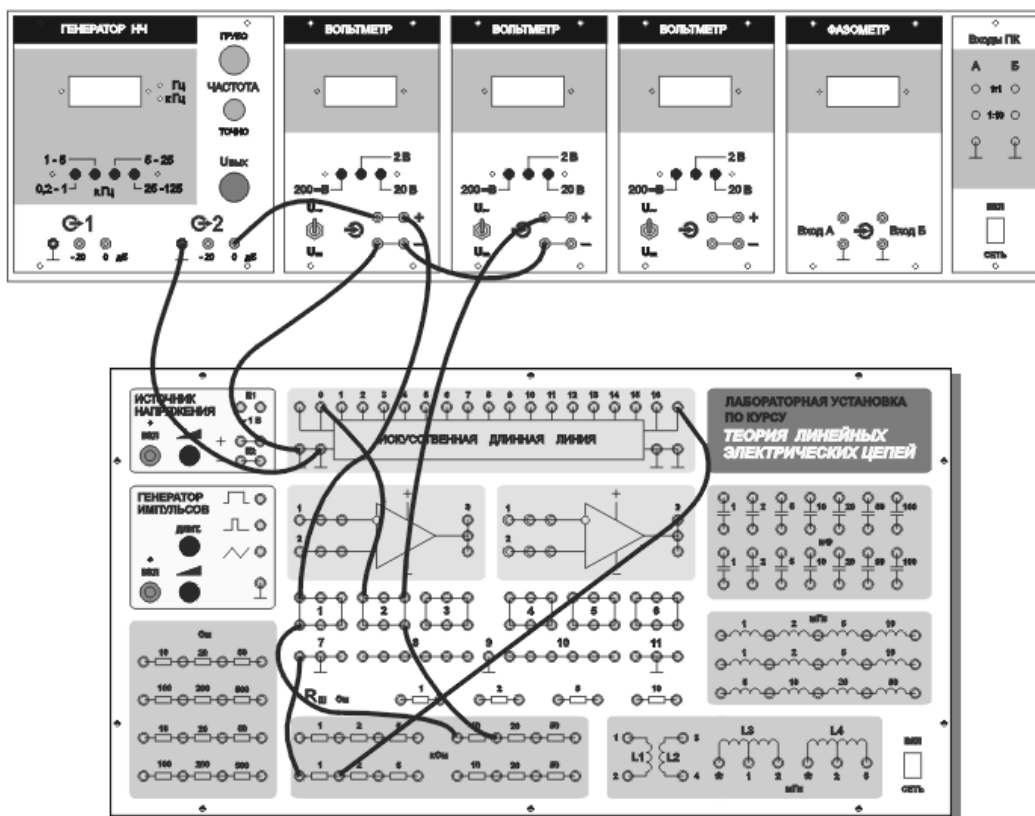


Рис. 5.8. Схема соединения элементов установки для выявления зависимости $|Z_{BX}|$ от частоты сигнала

Установите напряжение на выходе генератора 5 В. Поддерживайте его неизменным до окончания эксперимента.

Изменяя частоту генератора от 200 Гц до 100 кГц, фиксируйте в таблице 5 напряжение на входе ИДЛ по показаниям PV2. Для каждой частоты рассчитайте входное сопротивление ИДЛ по формуле

$$R_{BX} = \frac{U_{PV2}}{U_{PV1} - U_{PV2}} \cdot 10000 \quad (5.1)$$

Результаты расчетов занесите в табл. 5.3. По результатам эксперимента постройте зависимость входного сопротивления линии от частоты сигнала для случая несогласованной нагрузки.

Таблица 5.3

Зависимость модуля входного сопротивления длинной линии от частоты сигнала

Частота генератора , кГц	0,2	0,5	1	2	100
U_{PV2} ($Z_H > Z_B$)						
R_{BX} , Ом ($Z_H > Z_B$)						
U_{PV2} ($Z_H = Z_B$)						
R_{BX} , Ом ($Z_H = Z_B$)						

Повторите эксперимент для согласованной нагрузки. В качестве нагрузки ИДЛ подключите резистор, сопротивление которого равно волновому. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 5.3. По результатам эксперимента постройте зависимость входного сопротивления линии от частоты сигнала для случая согласованной нагрузки. График постройте в тех же координатных осях, что и в предыдущем случае.

Сравните результаты экспериментов. Сделайте необходимые выводы.

4. Краткие теоретические сведения

В установившемся режиме гармонических колебаний в длинной линии напряжение и ток в любой точке линии складываются из падающих и отраженных волн. Отраженные волны возникают в конце линии.

Отношение комплексной амплитуды отраженной волны к комплексной амплитуде падающей волны в конце линии называется коэффициентом отражения $\underline{\sigma}$. Коэффициент отражения показывает, какую часть амплитуды падающей волны в конце линии составляет амплитуда отраженной волны.

Если линия замкнута накоротко на конце ($Z_H = 0$), то коэффициент отражения по напряжению $\underline{\sigma}_U = -1$, а коэффициент отражения по току $\underline{\sigma}_I = 1$. Падающая и отраженная волны в конце линии имеют равные амплитуды и сдвинуты по отношению друг к другу на 180° . Амплитуда результирующей волны напряжения в конце линии будет равна нулю. В то же время падающая и отраженная волны тока будут иметь равные амплитуды, что приведет к увеличению тока в конце короткозамкнутой линии.

При холостом ходе в конце линии ($Z_H = \infty$) коэффициент отражения по напряжению $\underline{\sigma}_U = 1$, а коэффициент отражения по току $\underline{\sigma}_I = -1$, т.е. картина противоположная: ток в нагрузке равен нулю, а напряжение увеличивается вдвое.

При согласованном включении ($Z_H = Z_B$), $\underline{\sigma}_U = 0$, $\underline{\sigma}_I = 0$, отраженные волны напряжения и тока отсутствуют. При этом вся энергия поглощается в конце линии нагрузочным сопротивлением. Этот режим работы наиболее

выгоден для передачи сигналов связи, т.к. отражение энергии от нагрузки приводит помимо увеличения рабочего ослабления линии к появлению так называемых эхо-сигналов, накладывающихся на основной сигнал и искажающих его.

Входное сопротивление линии определяется отношением напряжения и тока в начале линии. При согласованном включении линии ($Z_{\text{Н}} = Z_{\text{В}}$) входное сопротивление линии равно волновому сопротивлению $Z_{\text{ВХ}} = Z_{\text{В}}$.

Во всех случаях, когда $Z_{\text{Н}} \neq Z_{\text{В}}$, входное сопротивление зависит от сопротивления нагрузки, частоты сигнала, длины и параметров линии.

Важным вторичным параметром длинной линии является коэффициент распространения γ , характеризующий изменение напряжения и тока по абсолютной величине и по фазе при распространении энергии на расстояние, равное единице длины (1 км или 1 м) в условиях согласованного включения линии

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (5.2)$$

При распространении энергии по линии на расстояние l напряжение и ток уменьшаются в $e^{\alpha l}$ раз, а фазы напряжения и тока изменятся на величину βl .

В лабораторной установке используется искусственная длинная линия (ИДЛ), состоящая из 16 одинаковых звеньев, включенных каскадно. От каждого звена имеется отвод. Отводы пронумерованы от 0 до 16.

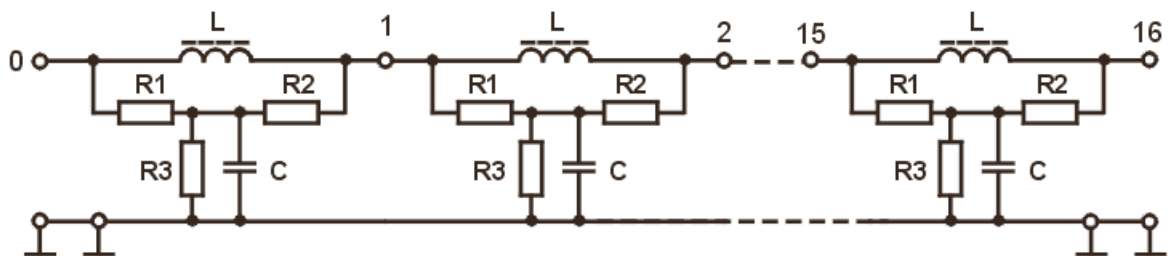


Рис. 5.9. Принципиальная схема искусственной длинной линии

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Какие цепи называются цепями с распределенными параметрами?
- 5.2. Какая величина называется длиной волны?
- 5.3. Выведите телеграфные уравнения для режима гармонических колебаний.
- 5.4. Что называется падающей и отраженной волнами в длинных линиях?
- 5.5. Что называется коэффициентом отражения по напряжению в конце линии? Как зависит этот коэффициент от сопротивления нагрузки и волнового сопротивления?
- 5.6. Какими первичными параметрами характеризуются длинные линии?
- 5.7. Какие параметры называются вторичными? Приведите пример.
- 5.8. Что называется фазовой скоростью?
- 5.9. Поясните режим работы линии без потерь.

- 5.10 Запишите уравнения передачи линии без потерь. Чем они отличаются от уравнений передачи линии с потерями?
- 5.11 Укажите различия между следующими понятиями: падающие и отраженные волны; бегущие, стоячие и смешанные волны?
- 5.12 Почему кабельные линии связи эксплуатируют в режиме согласованной нагрузки?
- 5.13 Что называется КБВ и КСВ?
- 5.14 Как выражаются вторичные параметры в длинных линиях с потерями и без потерь?

Список рекомендуемой литературы

1. Берикашвили В. Электроника и микроэлектроника: импульсная и цифровая электроника / В. Берикашвили. – М.: Юрайт, 2018. – 2-е изд. – Режим доступа: <http://www.biblio-online.ru/book/4B5B27D8-D469-4AB8-B6DE-98FD75DBBA30>. – Рус яз. – ISBN 978-5-534-06256-4.
2. Кузовкин В. А. Электротехника и электроника / В. А. Кузовкин. – М.: Юрайт, 2017. – Режим доступа : <http://www.biblio-online.ru/book/D890C457-1709-46C0-B27B-4612963BE37A>. – Рус яз. – ISBN 978-5-9916-3855-5.
3. Новожилов О. П. Электротехника и электроника: учебник для бакалавров вузов по направлениям подгот. 230100 (654600) «Информатика и вычислительная техника» / О. П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2012. – 652 [1] с.: – (Бакалавр). – ISBN 978-5-9916-1450-4.
4. Новожилов О. П. Электротехника и электроника / О. П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2017. – Режим доступа : <http://www.biblio-online.ru/book/EA7D000A-DDFD-472F-B8FB-FDAA602CB97C>. – Рус яз. – ISBN 978-5-9916-2941-6.

Учебное издание

Составители

Стерхова Татьяна Николаевна

Бас Анатолий Степанович

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Подписано в печать 22.05.2020. Формат 60х84¹/₈.

Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4.21.

Издательство «*Jus est*»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, корп.4